Gouvernement du Canada
Service canadien des forêts

Government of Canada
Canadian Forestry Service

Évolution du pH de divers sols forestiers au cours des derniers 20 ans

Evolution of the pH of various forest soils over the past twenty years

M.R. Roberge

Rapport d'information/Information Report LAU-X-77
Centre de foresterie des Laurentides
Laurentian Forestry Centre

88-04959/

CENTRE DE FORESTERIE DES LAURENTIDES

Le Centre de foresterie des Laurentides (CFL) est un des six établissements régionaux du Service canadien des forêts (SCF). Le Centre poursuit des travaux de recherche et de développement pour un aménagement et une utilisation plus rationnels des ressources forestières du Québec. En collaboration avec divers groupes et organismes québécois, les chercheurs du CFL visent à acquérir une meilleure compréhension du fonctionnement des écosystèmes forestiers en vue de contribuer à solutionner les problèmes majeurs en foresterie au Québec et à développer des méthodes acceptables pour l'amélioration et la sauvegarde de l'environnement forestier.

Au Québec, les activités du SCF portent sur trois éléments majeurs: la recherche dans le domaine des ressources forestières, la recherche dans le domaine de la protection et enfin, le développement forestier. La plupart des travaux sont entrepris pour répondre aux besoins des organismes intéressés à l'aménagement forestier, surtout dans le but d'améliorer la protection, la croissance et la qualité de la ressource forestière de la région. L'information est diffusée sous forme de rapports scientifiques, de feuillets techniques ou autres publications dans le but d'atteindre toutes les catégories d'utilisateurs des résultats de recherche.

LAURENTIAN FORESTRY CENTRE

The Laurentian Forestry Centre (LFC) is one of six regional establishments of the Canadian Forestry Service (CFS). The Centre's objective is to promote, through research and development, the most efficient and rational management and use of Quebec's forest. In cooperation with several Quebec agencies, scientists at LFC seek to acquire a better understanding of how the forest ecosystem works with a view to solving major forestry problems and develop methods to improve and to protect the forest environment.

In the province of Quebec, CFS's program consists of three major elements: forest resources research, forest protection research, and forest development. Most of the research is undertaken in response to the needs of forest management agencies, with the aim of improving the protection, growth, and quality of the region's forest resource. The results of this research are distributed to potential users through scientific and technical reports and other publications.

Évolution du pH de divers sols forestiers au cours des derniers 20 ans: effets de la maturité absolue des peuplements et des pluies acides

Evolution of the pH of various forest soils over the past twenty years: Effects of stand maturity and acid rain

Marcien R. Roberge

Rapport d'information LAU-X-77
1987

Information Report LAU-X-77
1987

Centre de foresterie des Laurentides
Service canadien des forêts

Laurentian Forestry Centre
Canadian Forestry Service

Des exemplaires vous sont offerts gratuitement au:
Centre de foresterie des Laurentides
Service canadien des forêts
1055, rue du P.E.P.S.
C.P. 3800
Sainte-Foy (Québec)
G1V 4C7

Copies are available free of charge from:
Laurentian Forestry Centre
Canadian Forestry Service
1055, du P.E.P.S.
P.O. Box 3800
Sainte-Foy, Quebec
G1V 4C7

N° de Catalogue/Catalog No. Fo46-18/77
ISSN 0835-1589
ISBN 0-662-55586-4

©Ministère des Approvisionnements et Services Canada, 1987
©Minister of Supply and Services Canada, 1987

Des copies ou des microfiches de cette publication sont également en vente chez: Micro Média Inc., Place du Portage, 165, Hôtel-de-Ville, Hull (Québec) J8X 3X2

Copies or microfiches of this publication may be purchased from: Micro Media Inc., Place du Portage, 165, Hôtel-de-Ville, Hull, Quebec J8X 3X2

TABLE DES MATIÈRES

	Page
LISTE DES TABLEAUX	iv
RÉSUMÉ	v
INTRODUCTION	1
MATÉRIEL ET MÉTHODES	2
Description des peuplements et des sols	2
Échantillonnage et détermination du pH	7
RÉSULTATS	8
DISCUSSION ET CONCLUSIONS	14
RÉFÉRENCES	16

TABLE OF CONTENTS

	Page
LIST OF TABLES	iv
ABSTRACT	v
INTRODUCTION	1
MATERIAL AND METHODS	2
Description of stands and soils	2
Sampling and determination of pH	7
RESULTS	8
DISCUSSION AND CONCLUSIONS	14
REFERENCES	16

LISTE DES TABLEAUX

Page

Tableau 1. Évolution du pH du sol d'érablières à sucre. 9

Tableau 2. Évolution du pH du sol de sapinières 10

Tableau 3. Évolution du pH du sol d'une pineraie grise. 13

Tableau 4. Évolution du pH du sol d'une pessière noire. 13

LIST OF TABLES

Page

Table 1. Evolution of pH of soil in sugar maple stands. 9

Table 2. Evolution of pH of soil in balsam fir stands 10

Table 3. Evolution of pH of soil in a jack pine stand 13

Table 4. Evolution of pH of soil in a black spruce stand. . . . 13

RÉSUMÉ

Le pH de neuf sols forestiers, répartis dans les trois grandes zones forestières du Québec, soit l'érablière à sucre, la sapinière et la pessière noire, a été mesuré à tous les 5 ans, dont au moins une mesure depuis 1961. Les peuplements que supportaient ces sols lors des premiers mesurages étaient tous près de leur maturité absolue et étaient en bon état de croissance. Malgré les pluies acides qui sont tombées au cours des derniers 20 ans, le pH des neuf sols a eu tendance à augmenter. Peut-être y aurait-il eu une augmentation plus forte sans pluies acides; l'absence de témoins ou d'endroits où il n'est pas tombé de pluies acides ne permet cependant pas de le dire.

ABSTRACT

The pH of nine forest soils found in the three main forest zones of Quebec--sugar maple, balsam fir, and black spruce--was measured every five years, with some measurements going back to 1961. The stands growing on these soils when the first measurements were taken were all nearly fifty years old and were developing well. Despite the acid rain which has fallen over the past twenty years, the pH of the nine soils has tended to increase. Perhaps there would have been a greater increase in the absence of acid rain; but without control sites or places where no acid rain has fallen, this can only be a matter of conjecture.

INTRODUCTION

Au cours de l'été 1982, plusieurs cas de dépérissement d'érables à sucre (*Acer saccharum* Marsh.) ont été signalés; depuis, de nombreux autres cas ont été observés sur cette essence et quelques-uns sur d'autres essences feuillues.

Plusieurs causes connues pour entraîner du dépérissement d'arbres ont été signalées depuis 1980, à commencer par une épidémie de la livrée des forêts (*Malacosoma disstria* Hbn.) particulièrement sévère de 1980 à 1982. Puis, il y a eu une faible accumulation de neige durant l'hiver 1981 qui a entraîné un gel anormal des racines. De plus, il est survenu, en février de la même année, une période de temps doux jamais vue suivie d'une période de grand froid entraînant un dégel et un gel anormal dans toutes les parties de l'arbre. Cette période a été suivie d'un été très sec en 1983 et d'une production de semences exceptionnelles en 1984. À ces cinq causes, est venue s'ajouter une épidémie de l'arpenteuse de Bruce (*Operophtera bruceata* Hulst) qui cause une défoliation grave dans certaines érablières depuis 1983.

L'occurence depuis 1980 de ces six causes naturelles connues pour entraîner

INTRODUCTION

During the summer of 1982, several cases of dieback of sugar maples (*Acer saccharum* Marsh.) were noted; since then, numerous other incidents have been observed among trees of this species, along with a few occurrences in other hardwood species.

Several known causes of tree dieback have been noted since 1980, beginning with an especially severe epidemic of the forest tent caterpillar (*Malacosoma disstria* Hbn.) from 1980 to 1982. The light snow pack during the winter of 1981, resulted in abnormal freezing of roots and in February of the same year, unprecedented mild weather followed by a severe cold spell, resulted in an abnormal thawing and freezing of all parts of the tree. This period was followed by a very dry summer in 1983 and exceptionally heavy seed production in 1984. In addition to these five causes, there has been an epidemic of the Bruce spanworm (*Operophtera bruceata* Hulst), which has been causing severe defoliation in some maple stands since 1983.

Given that these six known natural causes of tree dieback have occurred

du dépérissement d'arbres peut-elle expliquer tout le dépérissement signalé depuis 1982? Certainement pas, car il faut ajouter les deux grandes causes humaines, soit les pluies acides et le mauvais aménagement forestier. Si l'importance du mauvais aménagement forestier ne laisse planer aucun doute, car le dépérissement a généralement tendance à être plus élevé si l'aménagement est mauvais, les pluies acides, par contre, provoquent encore de vives discussions.

Cette étude sur l'évolution du pH de divers sols forestiers au cours des derniers 20 ans a justement pour but de lever certains doutes concernant l'importance des pluies acides. D'après le Service d'environnement atmosphérique du Canada, le pH moyen des précipitations pour la période de juin à août 1978 se situait entre 4,0 et 4,5 pour l'ensemble de la forêt du Québec (Rennie, 1980). Durant toute l'année 1982, le pH s'est maintenu entre 4,2 et 4,4 (M.E.Q., 1984).

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Description des peuplements et des sols

Les peuplements et les sols ont été choisis pour étudier les effets de divers traitements sylvicoles, plus

since 1980, can they account for all the dieback noted since 1982? Certainly not, for it is necessary to add the two main human causes, acid rain and poor forest management. As to the importance of poor forest management there is no doubt, since dieback generally tends to be more severe if management is poor; acid rain, however, continues to be the subject of lively debate.

This study on the evolution of the pH of various forest soils over the past twenty years is to dispel certain doubts concerning the importance of acid rain. According to the Canadian Atmospheric Environment Service, the mean pH of precipitation for June to August 1978 was between 4.0 and 4.5 for the forests of Quebec (Rennie 1980). For the year 1982, the pH was between 4.2 and 4.4 (M.E.Q. 1984).

MATERIAL AND METHODS

Description of stands and soils

The stands and soils were selected to study the effects of various silvicultural treatments, particularly

particulièrement de la fertilisation à l'urée, sur les arbres et les sols. Les pH présentés dans ce rapport sont ceux des parcelles- témoins. Ces résultats ont tous été déjà publiés, sauf les plus récents (Roberge *et al.*, 1980; Morvan, 1983; Roberge, 1983), et apparaissent dans des rapports internes[1].

L'érablière à sucre de St-Adolphe-de-Dudswell est située dans la forêt expérimentale de Dudswell, à mi-chemin entre Asbestos et Sherbrooke en Estrie. Le sol est un loam profond et frais. Le peuplement, dont la plupart des peupliers avaient été coupés en 1953, s'est établi suite à un incendie survenu en 1903; il était composé de 70 % de bouleaux jaunes (*Betula alleghaniensis* Britton), de 10 % d'érables à sucre et de plusieurs autres essences feuillues et résineuses dont la moyenne d'âge, de diamètre et de hauteur était, en 1970, respectivement de 42 ans, 21 cm et 17 m. La croissance et

fertilization with urea, on trees and soils. The pH readings given in this report were taken from control plots. The results have all been published previously, except for the most recent (Roberge et al. 1980; Morvan 1983; Roberge 1983), and have appeared in internal reports[1].

The St-Adolphe-de-Dudswell sugar maple stand was located in the Dudswell experimental forest, midway between Asbestos and Sherbrooke in the Eastern Townships, Quebec. The soil was a deep, fresh loam. The stand was established following a fire in 1903, most of its poplars were cut in 1953. In 1970, it consisted of 70 percent yellow birch (*Betula alleghaniensis* Britton), 10 percent sugar maple, and the remainder of several other hardwood and softwood species. The trees had an average age of 42 years and an average height and diameter of 17 m and 21 cm. The growth

---

[1] Roberge, M.R. 1982a. Effet de la fertilisation sur la croissance en diamètre du pin gris. Rapp. int. Serv. can. forêts. 16 p.

Roberge, M.R. 1982b. Vingt ans d'évolution d'un peuplement d'épinettes noires et de l'humus sous-jacent, avec et sans fertilisation, combinée ou non avec de l'éclaircie, et avec de la coupe à blanc suivie ou non de plantation. Rapp. int. Serv. can. forêts. 25 p.

Roberge, M.R. 1982c. Influence de l'éclaircie, de la fertilisation à l'urée et de la collecte d'eau d'érable sur la fertilité du sol d'une érablière à sucre. Rapp. int. Serv. can. forêts. 83 p.

la composition de ce peuplement sont étudiées depuis 1963 (Roberge, 1975).

Les trois érablières à sucre de Duchesnay sont situées dans la station forestière de Duchesnay à 40 km au nord-ouest de la ville de Québec. Les érablières 1 et 3 sont sur loam profond et frais tandis que l'érablière 2 est sur loam mince et frais. Des coupes partielles avaient été effectuées dans les trois érablières; dans les érablières 1 et 2, la dernière coupe remontait à environ 1920 alors que dans l'érablière 3, elle remontait seulement à 1977; les trois peuplements étaient composés de 75 % d'érables à sucre, de 10 % de bouleaux jaunes, de 10 % de hêtres et de quelques autres essences feuillues et résineuses. L'âge moyen des arbres des trois érablières était de 60 ans, le diamètre de 20 cm et la hauteur de 20 m. Les caractéristiques dendrométriques et écologiques de ces érablières sont étudiées depuis 1974 (Robitaille, 1975).

La sapinière de Québec est située à 100 km au nord de la ville de Québec. Le sol est un loam profond et humide. En 1968, le peuplement originaire d'une coupe partielle était composé de 70 % de sapins baumiers (*Abies balsamea* [L.] Mill.) et de 30 % d'épinettes noires (*Picea mariana* [Mill.] BSP) avec

and composition of this stand were studied since 1963 (Roberge 1975).

The three sugar maple stands at Duchesnay were located in the Duchesnay forest station, 40 km northwest of Quebec City. Stands 1 and 3 were on deep, fresh loam, while stand 2 was on a shallow, fresh loam. Partial cuttings had been carried out in all three stands; stands 1 and 2 were last cut in 1920, and stand 3 was cut in 1977. In 1977, the three stands consisted of 75 percent sugar maple, 10 percent yellow birch, 10 percent beech, and the remainder of other hardwood and softwood species. Trees in the three stands had an average age of 60 years; the average diameter was 20 cm and the average height was 20 m. The forest and ecological characteristics of these maples have been studied since 1974 (Robitaille 1975).

The Quebec City balsam fir stand was located 100 km north of the city. The soil was a deep, moist loam. In 1968, the stand, which originated from a partial cutting, consisted of 70 percent balsam fir (*Abies balsamea* [L.] Mill.) and 30 percent black spruce (*Picea mariana* [Mill.] BSP), with a

quelques bouleaux à papier (*Betula papyrifera* Marsh.). L'âge moyen des arbres était de 50 ans, le diamètre de 15 cm et la hauteur de 13 m. L'évolution de ce peuplement a été décrite dans une publication antérieure (Roberge *et al.*, 1980).

La sapinière de Murdochville est située à 40 km au sud-ouest de cette ville en Gaspésie. Le sol est un loam profond et humide. En 1968, le peuplement originaire d'un chablis était composé de 70 % de sapins baumiers et de 30 % d'épinettes blanches (*Picea glauca* [Moench] Voss) avec quelques bouleaux à papier. L'âge moyen des arbres était de 40 ans, le diamètre de 12 cm et la hauteur de 11 m. L'évolution de ce peuplement a fait l'objet d'une publication antérieure (Roberge *et al.*, 1980).

La sapinière de Grande-Vallée est située à 50 km au sud de cette ville en Gaspésie. Le sol est un loam profond et humide. En 1968, le peuplement originaire d'un chablis était composé de 65 % de sapins baumiers et de 35 % d'épinettes blanches avec quelques bouleaux à papier. L'âge moyen des arbres était de 60 ans, le diamètre de 16 cm et la hauteur de 15 m. Ce peuplement avait atteint sa

few white birch (*Betula papyrifera* Marsh.). The average age of the trees was 50 years, with an average diameter and height of 15 cm and 13 m. Roberge (1980) described the evolution of this stand.

The Murdochville balsam fir stand was located 40 km southwest of this Gasp community. The soil was a deep, moist loam. In 1968, the stand, which originated from a windfall, consisted of 70 percent balsam fir and 30 percent white spruce (*Picea glauca* [Moench] Voss), with a few white birches. The average age of the trees was 40 years, with an average diameter of 12 cm and an average height of 11 m. The evolution of this stand has been described by Roberge et al. (1980).

The Grande-Vallée balsam fir stand was located 50 km south of this Gaspé community. The soil was a deep, moist loam. In 1968, the stand, which originated from a windfall, consisted of 65 percent balsam fir and 35 percent white spruce, with a few white birches. The average age of the trees was 60 years, with diameter and height averaging 16 cm and 15 m. The stand reached

maturité absolue[2] en 1978 (Roberge *et al.*, 1980).

La pineraie grise de Mattawin est située à 80 km à l'ouest de cette ville en Mauricie. Le sol est un sable profond et frais. En 1972, le peuplement originaire d'un feu était composé de 85 % de pins gris, de 15 % d'épinettes noires et de quelques peupliers et bouleaux à papier. L'âge moyen des arbres était de 40 ans, le diamètre de 13 cm et la hauteur de 12 m. Gagnon *et al.* (1979) ont traité de l'évolution de ce peuplement.

La pessière noire de Baie-Comeau est située à 90 km au nord de cette ville sur la Côte-Nord. Le sol est un loam profond et frais. En 1961, le peuplement originaire d'un incendie était composé de 90 % d'épinettes noires, de 10 % de sapins baumiers et de quelques bouleaux à papier

optimum maturity[2] in 1978 (Roberge et al. 1980).

The Mattawin jack pine stand was located 80 km west of the community of the same name in the Mauricie. The soil was a deep, fresh sand. In 1972, the stand, which originated from a fire, was composed of 85 percent jack pine, 15 percent black spruce and a few poplars and white birches. The average age of the trees was 40 years, with diameter and height averaging 13 cm and 12 m respectively. Gagnon et al. (1979) described the evolution of this stand.

The Baie-Comeau black spruce stand was located 90 km north of this North Shore community. The soil was a deep, fresh loam. In 1961, the stand, which originated from a fire, consisted of 90 percent black spruce and 10 percent balsam fir, with a few white birches and

---

[2] On dit qu'un peuplement a atteint sa maturité absolue lorsque l'accroissement annuel moyen est maximal. Cela est généralement accompagné d'une ouverture plus prononcée du couvert, d'un changement de composition, de la pousse de nouvelles plantes, d'un réchauffement du sol et d'une activité microbienne plus intense.

[2] A stand has reached its optimum maturity when the annual growth is at its maximum. This is usually accompanied by a greater opening of the cover, a change in composition, establishment of new plants, a warming of the soil, and a more intense growth of microorganisms.

et peupliers. Comme pour tous les peuplements précédents, l'évolution du peuplement a été suivie en même temps que celle du pH et de d'autres caractéristiques microbiologiques du sol (Weetman *et al.*, 1980).

En résumé, les neuf peuplements étaient composés d'arbres jeunes et sains dans l'ensemble, de densité moyenne et près de leur maturité absolue. Les sols étaient en général de bonne qualité pour les essences présentes.

Échantillonnage et détermination du pH

Tous les pH présentés proviennent d'échantillons d'humus et de sol minéral prélevés à l'automne. On a extrait au moins 24 carottes de 5 cm de diamètre par 15 cm de longueur dans quatre parcelles de forêt, toujours les mêmes, pour chacun des neuf peuplements et pour chaque année de prélèvement. Ces échantillonnages ont été séparés par couches L, F_1, F_2 et sol minéral, et placés dans des sacs de polythène à 5°C, à l'état humide, et à la noirceur. Les 4 couches composites de sol ainsi obtenues de chaque parcelle de forêt ont été subséquemment broyées et homogénéisées.

Le pH de chaque couche ainsi échantillonnée, conservée et préparée a été

poplars. As with the previous stands, its evolution was studied at the same time as the pH and other microbiological characteristics of the soil (Weetman et al. 1980).

In summary, the nine stands generally consisted of young, healthy trees of average density. The soils were generally of good quality for the species growing on them.

Sampling and determination of pH

All pH readings shown come from samples of humus and mineral soil taken in autumn. In each of the nine stands and in each year of sampling, at least 24 core samples 5 cm in diameter and 15 cm in length were extracted from the same four forest plots. These samples were then separated by layer--L, F_1, F_2, and mineral soil--and placed in polythene bags, where they were kept moist and in the dark at 5°C. The four composite layers of soil from each forest plot were subsequently ground and homogenized.

The pH of each layer was determined by means of a Beckman potentiometer

déterminé à l'aide d'un potentiomètre Beckman (modèle H_2) muni d'électrodes de verre et de calomel. Des échantillons de 5 g additionnés d'eau à 140 % de leur capacité de rétention ont été utilisés.

RÉSULTATS

Les résultats sont présentés par couches d'humus, puis pour tout l'humus et enfin pour le sol minéral désigné par A_1. Ce sont les moyennes d'au moins deux déterminations par couches et par parcelles, pour les quatre parcelles de chaque peuplement, et pour chaque année de prélèvement.

Le pH de l'horizon arable du sol (ou de l'horizon de surface du sol de 15 cm de profondeur où l'on trouve environ 90 % des radicelles qui nourrissent l'arbre et où l'arbre prend 90 % de l'eau et des éléments nutritifs nécessaires à sa survie et à sa croissance) a eu tendance à monter dans les neuf sols au cours des périodes étudiées (tableaux 1 à 4).

Le pH du sol de l'érablière à sucre de Dudswell (située en plein coeur de la région où le dépérissement et les précipitations acides sont les plus élevés d'après Rennie (1980) et M.E.Q. (1984)) est passé de 4,6 en 1970 à 4,8 en 1980 (tableau 1). Durant la même période, le

(model H_2) equipped with glass and calomel electrodes. Five-gram samples supplemented by water to 140 percent of their retention capacity were used.

RESULTS

The results are shown for each humus layer, then for all humus and finally for mineral soil, designated A_1. The figures shown represent the averages of at least two determinations per layer and per plot, for four plots in each stand, and for each year of sampling.

In the arable soil horizon (or the surface horizon of the soil, 15 cm deep, where roughly 90 percent of the rootlets that nourrish the tree are to be found, and where the tree takes in 90 percent of the water and nutrient elements necessary for its survival and growth) the pH rose in the nine soils over the periods examined (Tables 1 to 4).

In the Dudswell sugar maple stand, which is located in the heart of the region in which dieback and acid precipitation levels are greatest (Rennie 1980; M.E.Q. 1984), the pH of the soil rose from 4.6 in 1970 to 4.8 in 1980 (Table 1). During the same period, the

Tableau 1. Évolution du pH du sol d'érablières à sucre

Table 1. Evolution of pH of soil in sugar maple stands

Couche Layer	St-Adolphe-de-Dudswell 1970	1975	1980
L	5,4*	6,0	5,8
F_1	5,0	5,1	4,8
F_2	4,4	4,5	4,5
Toutes All layers	4,6**	4,8	4,8
A_1	4,6	4,9	4,8

	Duchesnay (1) 1974	1979	1984
L	4,8	4,8	5,3
F_1	4,2	4,4	3,7
F_2	3,6	3,7	4,1
Toutes All layers	3,8	4,1	4,3
A_1	3,7	3,7	3,7

	Duchesnay (2) 1974	1979	1984
L	5,1	5,0	4,8
F_1	4,2	4,4	4,3
F_2	3,5	3,7	3,7
Toutes All layers	3,7	4,1	4,0
A_1	3,6	3,7	3,6

	Duchesnay (3) 1977	1982
L	4,7	4,8
F_1	4,4	4,6
F_2	3,7	3,8
Toutes All layers	4,2	4,3
A_1	3,9	3,9

* Moyenne de 96 échantillons. Avec un tel nombre d'échantillons, une différence de 0,1 unité de pH entre deux moyennes est significative à 95 % (Pritchett, 1979).

* Mean of 96 samples. With this number of samples, a difference of 0.1 unit of pH between two means is significant at 95% (Pritchett 1979).

** Moyenne pondérée par le poids de chaque couche d'humus.

** Mean weighted by the weight of each layer of humus.

Tableau 2. Évolution du pH du sol de sapinières

Table 2. Evolution of pH of soil in balsam fir stands

Couche Layer	Québec Quebec City 1968	1973	1978	1983
L	4,0*	4,8	5,0	5,0
F_1	3,7	4,1	4,2	4,3
F_2	3,7	4,0	4,2	4,3
Toutes All layers	3,7**	4,0	4,2	4,3
A_1	3,7	4,0	4,1	4,1
	Murdochville 1968	1973	1978	1983
L	4,3	5,1	5,0	5,0
F_1	4,0	4,4	4,4	4,4
F_2	3,6	3,9	4,3	4,3
Toutes All layers	3,8	4,0	4,3	4,3
A_1	3,8	4,0	4,3	4,3
	Grande-Vallée 1968	1973	1978	1983
L	5,1	5,7	5,8	5,8
F_1	4,8	5,1	5,7	5,7
F_2	4,6	4,8	4,9	4,9
Toutes All layers	4,7	4,9	5,0	5,0
A_1	4,8	5,0	5,1	5,1

* Moyenne de 96 échantillons. Avec un tel nombre d'échantillons, une différence de 0,1 unité de pH entre deux moyennes est significative à 95 % (Pritchett, 1979).

* Mean of 96 samples. With this number of samples, a difference of 0.1 unit of pH between two means is significant at 95% (Pritchett 1979).

** Moyenne pondérée par le poids de chaque couche d'humus.

** Mean weighted by the weight of each layer of humus.

volume marchand est passé de 111 à 155 m³/ha, malgré la mort d'une centaine d'arbres dont 81 bouleaux jaunes (Robitaille et Roberge, 1982). Cette forte mortalité du bouleau jaune a entraîné un fort changement de composition en faveur de l'érable à sucre et des autres essences. L'augmentation de pH semble être le résultat de l'arrivée du peuplement à sa maturité absolue et de la présence de nouvelles essences dans le peuplement.

Le pH de l'humus des trois érablières de Duchesnay (situées juste à l'extérieur de la région où le dépérissement et les précipitations acides sont les plus élevés) a augmenté de 0,5, 0,3 et 0,1 unité respectivement (tableau 1). L'augmentation a été moindre en passant de l'érablière 1 à l'érablière 2, puis à l'érablière 3, c'est-à-dire de celle sur loam profond et à maturité absolue à celle sur loam mince et à maturité absolue, puis à celle sur loam profond et non à maturité absolue (Robitaille, 1975).

Le pH de l'humus de la sapinière de Québec, de la sapinière de Murdochville et de la sapinière de Grande-Vallée a augmenté de 0,6, 0,5 et 0,3 unité respectivement, tandis que le pH du sol minéral a augmenté de 0,4, 0,5 et 0,3 unité dans les mêmes trois sapinières respectives

merchantable volume rose from 111 to 155 m³/ha, despite the death of a hundred trees, 81 of which were yellow birch (Robitaille and Roberge 1982). High mortality of yellow birch resulted in a marked change of composition in favor of sugar maple and other species. The increase in the pH appears to be a result of the stand reaching its optimum maturity and the presence of new species.

In the three sugar maple stands at Duchesnay, located just outside the region in which dieback and acid precipitation levels are greatest, the pH of the humus increased by 0.5, 0.3, and 0.1 of a unit (Table 1). This increase fell off from the first stand to the second to the third--that is, from the one on deep loam and at optimum maturity to the one on shallow loam and at optimum maturity to the one on deep loam and not at optimum maturity (Robitaille 1975).

The pH of the humus in the balsam fir stands of Quebec City, Murdochville, and Grande-Vallée increased by 0.6, 0.5, and 0.3 of a unit, while the pH of the mineral soil increased by 0.4, 0.5, and 0.3 of a unit in the same stands (Table 2). From 1968 to 1978, the merchantable

(tableau 2). De 1968 à 1978, le volume marchand est passé de 264 à 328 m³/ha, malgré la mortalité de 1 100 arbres (Roberge *et al.*, 1980). L'augmentation de pH durant cette période semble être le résultat du dépassement de la maturité absolue et du développement d'une végétation variée dans les trois peuplements. De 1978 à 1983, la tordeuse des bourgeons de l'épinette a défolié presque tous les sapins, en tuant 50 à 60 %, soit les plus faibles, supprimant toute augmentation de volume et entraînant le développement d'un sous-bois encore plus varié et abondant.

Le pH du sol minéral de la pineraie grise de Mattawin est passé de 4,4 à 5,0 de 1972 à 1982 (tableau 3). Durant la même période, le volume marchand est passé de 91 à 129 m³/ha, malgré la mort de 163 arbres. Ce peuplement avait atteint sa maturité absolue en 1977 (Gagnon *et al.*, 1979).

Le pH de l'humus de la pessière noire de Baie-Comeau (située la plus loin de la région où le dépérissement se fait le plus sentir et dans la région où les précipitations acides sont les plus faibles d'après Rennie (1980) et M.E.Q. (1984)) est passé de 3,4 à 3,6 de 1961 à 1981 (tableau 4). Durant la même période, le volume marchand est passé de 145 à

volume rose from 264 to 328 m³/ha, despite the death of 1 100 trees (Roberge et al. 1980). The increase in pH during this period appears to be the result of the stands going beyond optimum maturity and the development of a varied vegetation in the three stands. From 1978 to 1983, the spruce budworm defoliated almost all fir trees, killing 50 to 60 percent--the weakest preventing any increase in volume and causing the development of an even more varied and abundant undergrowth.

The pH of the mineral soil of the Mattawin jack pine stand rose from 4.4 to 5.0 between 1972 and 1982 (Table 3). During the same period, the merchantable volume rose from 91 to 129 m³/ha, despite the death of 163 trees. This stand had reached its optimum maturity in 1977 (Gagnon et al. 1979).

In the Baie-Comeau black spruce stand, located furthest from the region where dieback is most prevalent and in the region in which acid precipitation levels are the lowest, (Rennie 1980; M.E.Q. 1984) the pH of the humus rose from 3.4 to 3.6 from 1961 to 1981 (Table 4). During the same period, the merchantable volume rose from 145 to 190

Tableau 3. Évolution du pH du sol d'une pineraie grise

Table 3. Evolution of pH of soil in a jack pine stand

Couche / Layer	Mattawin 1972	Mattawin 1977	Mattawin 1982
L	4,2*	4,4	4,4
F_1	3,9	4,1	4,2
F_2	3,8	3,6	3,9
Toutes / All layers	3,9**	3,9	3,9
A_1	4,4	5,0	5,0

* Moyenne de 96 échantillons. Avec un tel nombre d'échantillons, une différence de 0,1 unité de pH entre deux moyennes est significative à 95 % (Pritchett, 1979).
* Mean of 96 samples. With this number of samples, a difference of 0.1 unit of pH between two means is significant at 95% (Pritchett 1979).

** Moyenne pondérée par le poids de chaque couche d'humus.
** Mean weighted by the weight of each layer of humus.

Tableau 4. Évolution du pH du sol d'une pessière noire

Table 4. Evolution of pH of soil in a black spruce stand

Couche / Layer	Baie-Comeau 1961	Baie-Comeau 1966	Baie-Comeau 1971	Baie-Comeau 1976	Baie-Comeau 1981
L	4,7*	4,6	4,2	4,3	4,5
F_1	3,4	3,4	3,7	3,7	3,9
F_2	3,3	3,2	3,5	3,1	3,4
Toutes / All layers	3,4**	3,3	3,5	3,2	3,6

* Moyenne de 96 échantillons. Avec un tel nombre d'échantillons, une différence de 0,1 unité de pH entre deux moyennes est significative à 95 % (Pritchett, 1979).
* Mean of 96 samples. With this number of samples, a difference of 0.1 unit of pH between two means is significant at 95% (Pritchett 1979).

** Moyenne pondérée par le poids de chaque couche d'humus.
** Mean weighted by the weight of each layer of humus.

190 m³/ha, malgré la mort de 450 arbres, dont 300 entre 1976 et 1981. Ce peuplement avait atteint sa maturité absolue en 1976 (Weetman *et al.* 1980).

DISCUSSION ET CONCLUSIONS

Tous les peuplements que supportaient les sols dont le pH a été mesuré avaient près de 50 ans et ont atteint et dépassé leur maturité absolue au cours des 20 ans d'étude. Dès qu'un peuplement atteint sa maturité absolue, sa demande en éléments nutritifs se met à baisser; ceux-ci s'accumulent dans le sol et entraînent une élévation du pH (Armson, 1977; Pritchett, 1979).

En même temps ou peu après, il y a souvent plus de lumière et de soleil qui pénètrent jusqu'au sol. Ceci entraîne le développement d'un sous-bois plus varié en essences et plus abondant. Simultanément et après, l'activité des microorganismes du sol augmente et la minéralisation des éléments nutritifs de la matière organique est activée; ceux-ci peuvent s'accumuler dans le sol et entraîner une élévation du pH (Wollum et Davey, 1975).

Les pluies acides peuvent causer une acidification par un délavage plus

m³/ha, despite the death of 450 trees, 300 of which died between 1976 and 1981. This stand had reached its optimum maturity in 1976 (Weetman et al. 1980).

DISCUSSION AND CONCLUSIONS

All stands whose soils were subjected to pH measurement were nearly 50 years old and either reached or went beyond their optimum maturity. When a stand reaches optimum maturity, its requirements for nutrient elements begin to drop; these elements accumulate in the soil and result in an increase in pH (Armson 1977; Pritchett 1979).

Simultaneously or shortly afterward, there is often an increase in the amount of light, some of it in the form of direct sunlight, which reaches the forest floor. This leads to the development of an undergrowth that is both more abundant and more varied in terms of species. Concurrently and afterward, the activity of microorganisms in the soil increases, and the mineralization of nutrient elements is activated; these may accumulate in the soil and cause an increase in pH (Wollum and Davey 1975).

Acid rains may cause acidification by greatly diluting the base cations of

prononcé des cations des bases des sols si l'anion associé ($SO_4^{=}$ ou NO_3^-) est mobile dans le sol (Singh *et al.*, 1980; Johnson *et al.*, 1983; Fuller *et al.*, 1985; Khanna *et al.*, 1987). Ceci n'est pas toujours le cas puisque l'anion SO_4^{--} peut être immobilisé par adsorption sur les oxydes de fer et d'aluminium dans les sols et par absorption biologique alors que l'anion NO_3^- est fréquemment immobilisé par absorption biologique car l'azote est l'élément nutritif le plus fréquemment limitant dans les écosystèmes forestiers (Pritchett, 1979; Keeney, 1980). Il semble bien que ni l'anion SO_4^- ni l'anion NO_3^- n'aient été suffisamment mobiles dans les sols de surface étudiés pour les acidifier.

the soils if the associated anion ($SO_4^{=}$ or NO_3^-) is mobile in the soil (Singh et al. 1980; Johnson et al. 1983; Fuller et al. 1985; Khanna et al. 1987). However, this is not always the case, because the anion SO_4 can be immobilized by absorption through iron oxide and aluminium in the soils and by biological absorption whereas the anion NO_3^- is often immobilized by biological absorption because nitrogen is the element most often limited in the forest ecosystems (Pritchett 1979; Keeney 1980). It appears that neither the anion SO_4^- nor the anion NO_3^- was sufficiently mobile in the surface soil studied to cause acidification.

Toutes les autres analyses biochimiques et microbiologiques effectuées sur les mêmes échantillons de sol corroborent les résultats de pH. C'est ainsi que la quantité d'ammonium, d'azote total, de bactéries et de champignons a eu tendance à augmenter. Il en fut de même pour l'activité respiratoire et ammonificatrice. Par contre, le rapport carbone sur azote a eu tendance à diminuer (Roberge *et al.*, 1980; Roberge, 1982a, b et c[3]; Morvan, 1983; Roberge, 1983).

All other biochemical and microbiological analyses carried out on the same soil samples corroborate the pH results. The quantity of ammonia, total nitrogen, bacteria, and fungi tended to increase, as did respiratory and ammonifying activity. By contrast, the carbon/nitrogen ratio tended to decrease (Roberge et al. 1980; Roberge 1982a, b, and c[3]; Morvan 1983; Roberge 1983).

---

[3] Roberge, M.R., *op. cit.* (voir/See page 3).

Les résultats des autres analyses biochimiques et microbiologiques effectuées indiquent que les pluies acides ont eu peu d'effet sur la décomposition et l'activité microbienne. Cette indication est consistante avec celle d'études montrant que la décomposition et l'activité microbienne sont rarement affectées suite à des traitements acides d'un pH de 3,0 ou plus (Baath *et al.*, 1979; Hovland *et al.*, 1980; Killham *et al.*, 1983; Chang et Alexander, 1984; Firestone *et al.*, 1984; Stroo et Alexander, 1986; McColl et Firestone, 1987).

The results obtained from other biochemical and microbiological analysis indicate that acid rains have had little effect on the decomposition and microbial activity. This is consistent with studies showing that the decomposition and microbial activity are rarely affected following acid treatments of a pH of 3.0 or more (Baath et al. 1979; Hovland et al. 1980; Killham et al. 1983; Chang and Alexander 1984; Firestone et al. 1984; Stroo and Alexander 1986; McColl and Firestone 1987).

Les sols des peuplements forestiers étudiés âgés d'environ 50 ans et en bon état de croissance ne se sont donc pas acidifiés au cours des dernières années; les conditions biochimiques et microbiologiques de ces sols ne se sont pas détériorées non plus. La croissance en volume marchand de ces peuplements est demeurée bonne malgré l'occurrence presque simultanée de plusieurs causes entraînant du dépérissement et de la mortalité et malgré une mortalité assez forte.

The soils of these 50-year-old forest stands which are healthy and growing have not become more acidic in recent years, nor has the biochemical and microbiological condition of these soils deteriorated. The increase in merchantable volume of these stands continues to be good despite the almost simultaneous occurrence of several causes of dieback and death, and a fairly high mortality rate.

RÉFÉRENCES/REFERENCES

Armson, K.A. 1977. Forest soils: properties and processes. University of Toronto Press, Toronto, 390 p.

Baath, E.B.; Lundgren, B.; Soderstrom, B. 1979. Effects of artificial acid rain on microbial activity and biomass. Bull. Environ. Contam. Toxicol. 23:737-740.

Chang, F.H.; Alexander, M. 1984. Effects of simulated acid precipitation on decomposition and leaching of organic carbon in forest soils. Soil Sci. 138:226-234.

Firestone, M.K.; McColl, J.G.; Killham, K.S.; Brooks, P.D. 1984. Microbial response to acid deposition and effects on plant productivity. Pages 51-63 *in* R.A. Linthurst (ed.), Direct and indirect effects of acidic deposition on vegetation. Butterworths, Boston.

Fuller, R.D.; David, M.B.; Driscoll, C.T. 1985. Sulfate adsorption relationships in forested spodosols of the northeastern USA. Soil Sci. Soc. Am. J. 49:1034-1040.

Gagnon, J.D.; Roberge, M.R.; Phu, T.D.; Swan, H.S.D. 1979. Effets de la fertilisation, après 10 ans, sur la croissance et le milieu d'une pineraie grise naturelle de 60 ans au nord-est du Québec. Serv. can. forêts. Cent. rech. for. Laurentides, Sainte-Foy, Québec. Rapp. inf. LAU-X-36.

Hovland, J.; Abrahamsen, G.; Ogner, G. 1980. Effects of artificial acid rain on decomposition of spruce needles and on mobilisation and leaching of elements. Plant Soil 56:365-378.

Johnson, D.W.; Richter, D.D.; Miegroet, H.V.; Cole, D.W. 1983. Contributions of acid deposition and natural processes to cation leaching from forest soils: A review. J. Air Pollut. Control Assoc. 33:1036-1041.

Keeney, D.R. 1980. Prediction of soil nitrogen availability in forest ecosystems: A literature review. For. Sci. 26:159-171.

Khanna, P.K.; Prenzel, J.; Meiwes, K.J.; Ulrich, B.; Matzner, E. 1987. Dynamics of sulfate retention by acid forest soils in an acidic deposition environment. Soil Sci. Soc. Am. J. 51:446-452.

Killham, K.; Firestone, M.K.; McColl, J.G. 1983. Acid rain and soil microbial activity: Effects and their mechanisms. J. Environ. Qual. 12:133-137.

McColl, J.G.; Firestone, M.K. 1987. Cumulative effects of simulated acid rain on soil chemical and microbial characteristics and conifer seedling growth. Soil Sci. Soc. Am. J. 51:794-800.

Ministère de l'Environnement du Québec. 1984. Réseau d'échantillonnage des précipitations du Québec, concentrations moyennes pondérées-1982. Rapp. 12 p.

Morvan, D. 1983. Comparaison entre la fertilité du sol d'une bande d'érablière coupée rase et d'une bande coupée à diamètres limites. Mémoire Fac. For. Géo. Univ. Laval. 63 p.

Pritchett, W.L. 1979. Properties and management of forest soils. John Wiley and Sons, New York. 500 p.

Rennie, P.J. 1980. Acid rain and the forest: a serious but elusive threat. Can. Pulp Paper Industry, August 1980:23-33.

Roberge, M.R. 1975. Effect of thinning on the production of high-quality wood in a Quebec northern hardwood stand. Can. J. For. Res. 5:139-145.

Roberge, M.R.; Gagnon, J.D.; Ung, C.H. 1980. Essai d'un dosage d'azote dans trois sapinières de 60 ans au Québec: résultats de 10 ans. J. can. rech. for. 10:470-475.

Roberge, M.R. 1983. La fertilisation d'une érablière à sucre de Dudswell. Annales de l'ACFAS 50:29-49.

Robitaille, L. 1975. L'érablière expérimentale de Duchesnay. Forêt Conserv. 43(3):27-29.

Robitaille, L.; Roberge, M.R. 1982. La sylviculture du bouleau jaune au Québec. Revue Forestière Française, n° spécial "Sylviculture en futaies feuillues":105-112.

Singh, B.R.; Abrahamsen, G.; Stuanes, A. 1980. Effect of simulated acid rain on sulfate movement in acid forest soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 44:75-80.

Stroo, H.F.; Alexander, M. 1986. Available nitrogen and nitrogen cycling in forest soils exposed to simulated acid rain. Soil Sci. Soc. Am. J. 50:110-114.

Weetman, G.F.; Roberge, M.R.; Meng, C.H. 1980. Black spruce: 15-year growth and microbiological responses to thinning and fertilization. Can. J. For. Res. 10:502-509.

Wollum, A.G.; Davey, C.B. 1975. Nitrogen accumulation, transformation, and transport in forest soils. Pages 67-106 in B. Bernier et C.H. Winget (ed.), Forest soils and forest land management. Les Presses de l'Univ. Laval, Québec.